

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 677

Juiste bepaling van de dichtheid van ingekuild ruwvoer voor de voorraadberekening van BEX en BEP

Deskstudie naar verbeteringen van huidige tabelmethode

Maart 2013



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

BLGG AGROXPERTUS
Dé expert in analyseren.



Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel
van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek,
2013

Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt
geen aansprakelijkheid voor eventuele schade
voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van
dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central
Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting
Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen
met het Departement Dierwetenschappen van
Wageningen University de Animal Sciences Group
van Wageningen UR (University & Research
centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV
onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze
onderzoeksopdrachten zijn de Algemene
Voorwaarden van de Animal Sciences Group
van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de
Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This report describes the results of a desk study
on opportunities to improve the determination of
the density of grass and maize silages. It is
concluded that it is possible to develop a model
(based on feed parameters) which estimates the
density more accurate than the current table-
based method. Therefore, it is recommended to
develop new calibration datasets based on silage
densities as measured in common practice.

Keywords

Grass, maize, silage, roughage, stock, BEX, BEP

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

R.L.M. Zom (Wageningen UR Livestock
Research)
G.W. Abbink (BLGG AgroXpertus)
H.A. van Schooten (Wageningen UR Livestock
Research)

Titel

Juiste bepaling van de dichtheid van ingekuuld
ruwvoer voor de voorraadberekening van BEX en
BEP

Rapport 677

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de resultaten van een
deskstudie naar de mogelijkheden om de
bepaling van de dichtheid van gras- en
maïskuilen te verbeteren. Geconcludeerd is dat
het mogelijk is om een model te ontwikkelen op
basis van enkele voerparameters die een
nauwkeuriger schatting geeft van de dichtheid
dan de huidige tabelmethode. Aanbevolen wordt
om daarvoor een kalibratiedataset op te bouwen
van in de praktijk gemeten kuildichtheden.

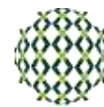
Trefwoorden

Graskuil, maïskuil, dichtheid, ruwvoer, voorraad,
BEX, BEP



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

BLGG AGROXPERTUS
Dé expert in analyseren.



Rapport 677

Juiste bepaling van de dichtheid van ingekuild ruwvoer voor de voorraadberekening van BEX en BEP

Determination of silage density to estimate roughage supplies for BEX and BEP

R.L.M. Zom (Wageningen UR Livestock Research)

G.W. Abbink (BLGG AgroXpertus)

H.A. van Schooten (Wageningen UR Livestock Research)

Maart 2013

Voorwoord

Vanuit de praktijk kwamen regelmatig geluiden dat de tabelwaarden voor kuildichtheden zoals die vermeld staan in het Handboek Melkveehouderij aanzienlijke afwijkingen kunnen geven. Deze tabelwaarden worden op dit moment gebruikt bij de berekening van de ruwvoervoorraad binnen de Bedrijfsspecifieke Excretie (BEX). Een betere schatting van de ruwvoervoorraad is daarmee van direct economisch belang voor melkveehouders omdat het van invloed is op de mestafzetkosten. Daarnaast kan een nauwkeurige schatting van de ruwvoervoorraad in de toekomst van belang worden bij het bereiken van evenwichtsbemesting.

Daarom is een onderzoeksproject gestart met als doel het ontwikkelen van een nauwkeuriger methode voor dichtheidsbepaling van kuilen, die bovendien eenvoudig in de praktijk is in te zetten en die geborgd kan worden.

Het onderzoeksproject is opgedeeld in twee fasen. Dit rapport beschrijft de resultaten van de eerste fase waarin een deskstudie is uitgevoerd naar beschikbare mogelijkheden om de dichtheid van gras- en maïskuilen nauwkeuriger te schatten. In de tweede fase zullen gegevens van praktijkkuilen worden verzameld om perspectievolle methoden te kunnen toetsen.

Het onderzoek is uitgevoerd door Wageningen UR Livestock Research en BLGG AgroXpertus en is gefinancierd door het Productschap Zuivel.

Samenvatting

Betrouwbare informatie met betrekking tot de hoeveelheden geproduceerd en verbruikt ruwvoer is essentieel om de Bedrijfsspecifieke Excretie (BEX) en de Bedrijfsspecifieke gebruiksnorm fosfaat (BEP) te kunnen berekenen. Thans worden de ruwvoervoorraden bepaald met een partijopmeting door monsternemers. Het volume wordt vermenigvuldigd met tabelwaarden met de dichtheid, uitgedrukt in kg drogestof per m³, om de hoeveelheid drogestof (DS) te schatten. Echter, een onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) liet zien dat de dichtheid van de individuele kuilen sterk kan afwijken van deze tabelwaarden. Daarom is er behoefte aan een nauwkeuriger schatting van de voorraden om het draagvlak te vergroten voor de BEX als zijnde een instrument om de mineralenverliezen uit de melkveehouderij te beperken. Een betere dichtheidsbepaling leidt tevens tot een betere vaststelling van de ruwvoeropbrengsten en biedt daarmee een extra stap in de richting van evenwichtsbemesting.

Om dit te bereiken is een literatuurstudie uitgevoerd naar mogelijk geschikte rekenmodellen en meetmethoden voor de bepaling van dichtheden van kuilen. De voorspelnauwkeurigheid van deze modellen is onderzocht met gebruikmaking van de gegevens van Nederlandse gras- en snijmaïskuilen verzameld door Van Schooten en Van Dongen (2007).

Uit deze studie kwam naar voren dat de bestaande rekenmodellen onvoldoende nauwkeurig zijn om de dichtheid van gras- en snijmaïskuilen te berekenen voor de voorraadbepaling voor BEX en BEP. Dit komt omdat onderliggende datasets van de bestaande modellen niet representatief zijn voor gras- en maïskuilen in Nederland. Daarnaast bevat een aantal modellen invoervariabelen die niet wettelijk geborgd kunnen worden.

Tevens laat een oriënterende analyse zien dat het opnemen van voerparameters, gerelateerd aan de verteerbaarheid en de celwandfracties, mogelijk kunnen bijdragen aan een verbetering van de voorspelnauwkeurigheid van rekenmodellen waarmee de dichtheid berekend kan worden.

Literatuuronderzoek geeft aan dat penetrometers ongeschikt zijn om de dichtheid van kuilen te kwantificeren.

Het wegen van boorkernen is als methode beperkt geschikt. De dichtheid van kuilen varieert met de hoogte en de breedte. Deze variatie bemoeilijkt het om tot een representatieve bemonstering van kuilen te komen, zonder een groot aantal boorkernen per kuil te wegen. Het wegen van boorkernen uit gesloten kuilen lijkt nog het best mogelijk bij graskuilen met een beperkte hoogte.

Alternatieve methoden zoals grondradar en microgolfmetingen bevinden zich nog in het ontwikkelingsstadium, maar lijken perspectiefrijk.

Aanbevolen wordt om in fase 2 van het project nieuwe rekenmodellen te ontwikkelen met eenvoudige, snel en goedkoop meetbare, invoervariabelen die kunnen worden geborgd (voerparameters en kuilafmetingen). Aanbevolen wordt tevens kalibratiedatasets te maken waarmee zowel nieuwe rekenmodellen als nieuwe technieken (grondradar, microgolfsonde) gekalibreerd kunnen worden.

Summary

Accurate estimations of the amounts of forage that are produced and used are indispensable to calculate the Farm Nutrient Excretion (BEX) and Farm Phosphorus Allowance (BEP).

Currently the amounts of forage produced on a farm are estimated by measuring the volume (m^3) of the forage ensiled in clamps and silo's and multiplied with tabulated values of the silage density ($\text{kg DM}/\text{m}^3$). However, a study from Van Schooten and Van Dongen (2007) showed considerable differences between the density based on measurements of the weight of silage blocks and dry matter content and estimates on silage density based on tabulated values. These results emphasize the need for further research to develop improved methods to estimate the density of ensiled forage.

Therefore, an inventory of published models for the estimation of silage density was made. The accuracy of these models was evaluated using a data set (Van Schooten and Van Dongen, 2007) on the density of grass and maize silages. The results of this evaluation indicate that none of the published models is able to adequately estimate the density of grass and maize silage. Therefore, these models are not suitable for estimation of the amount of forage produced on a farm. The poor accuracy of these models is probably associated with the fact that the models are developed using data that are not representative for grass and maize silages currently produced in the Netherlands. A preliminary study, using the same data of Van Schooten and Van Dongen (2007), indicates that feed parameters related to feed digestibility and contents of cell wall components were highly correlated with silage density. Inclusion of these parameters in models may improve the estimation accuracy of silage density.

A literature review indicates that penetrometers can be used to indicate variation in density within and between silage clamps, but that they are not suitable to quantify silage density.

Measuring silage density by means of core sampling, requires extensive sampling and has therefore limited value. Variability of the density within a silage clamp is large. Therefore, a large number of samples is required for an accurate estimation of silage density.

Further research is necessary to evaluate whether promising technologies like ground penetration radars and microwave sensors are useful for measuring silage density. However, at this stage, these technologies are not yet available for measuring silage density.

It is recommended to develop new models for the estimation of silage density under Dutch conditions and to develop new datasets for the calibration of new models and new techniques.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
1.1	Probleemstelling.....	1
1.2	Doelstelling.....	1
2	Literatuurstudie.....	2
2.1	Dichtheid van silages	2
2.2	Het belang van verdichting en dichtheid bij de conservering van ruwvoer	2
2.3	Voerparameters van invloed op de kuildichtheid	2
2.3.1	Dichtheid en verdichtbaarheid van kuilvoer	2
2.3.2	Drogestofgehalte.....	2
2.3.3	Ruwe celstof- en celwandgehalte	2
2.4	Inkuilmanagement en kuildichtheid	3
2.4.1	Haksellengte en deeltjesgrootte	3
2.4.2	Verdichtingsintensiteit	3
2.4.3	Aanvoersnelheid	3
2.4.4	Afmetingen.....	3
2.5	Modellen.....	4
2.5.1	Verklarende invoervariabelen in modellen voor schatten van dichtheid van silages	4
2.5.2	Toepassingsgebied.....	5
2.5.3	Evaluatie van rekenmodellen.....	5
2.5.3.1	Borging en controleerbaarheid inputvariabelen rekenmodellen	5
2.5.3.2	Gevoeligheid voor variatie in de inputvariabelen.....	5
2.5.3.3	Evaluatie voorspelnauwkeurigheid rekenmodellen	8
3	ternatieve mogelijkheden voor dichtheidsmetingen van gras- en maïskuilen.....	10
3.1	Directe dichtheidsmetingen.....	10
3.1.1	Penetrometers	10
3.1.2	Boormonsters.....	10
3.2	Nieuwe rekenmodellen.....	11
3.2.1	Praktisch toepasbare invoerparameters voor rekenmodellen	11
3.2.2	Correlaties tussen dichtheid, samenstelling en afmetingen van graskuil.	11
3.2.3	Regressieanalyse met data van graskuilen.	13
3.2.4	Correlaties tussen dichtheid, samenstelling en afmetingen van snijmaïskuilen.....	14
3.2.5	Regressieanalyse met data van snijmaïskuilen.....	15
3.3	Nieuwe technieken voor dichtheidsmeting.....	16
3.3.1	Grondradar.....	16
3.3.2	Microgolfsonde.....	17
4	Conclusies en aanbevelingen.....	18
5	Literatuur	19

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Een correcte meting van de dichtheid (kg drogestof/m^3) van gras- en snijmaïskuilen is cruciaal om de juiste hoeveelheid geproduceerd en verbruikt ruwvoer vast te stellen. Betrouwbare informatie over de hoeveelheden geproduceerd en verbruikt ruwvoer is essentieel om de Bedrijfsspecifieke Excretie (BEX) en de Bedrijfsspecifieke gebruiksnorm fosfaat (BEP) te kunnen berekenen.

De ruwvoervoorraden worden vastgelegd via een partijopmeting door geaccrediteerde monsternemers. Het door de monsternemer bepaalde volume wordt vermenigvuldigd met een dichtheid, uitgedrukt in $\text{kg drogestof per m}^3$ op basis van tabelwaarden (www.handboekmelkveehouderij.nl). Echter, het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) liet zien dat de dichtheid van individuele kuilen erg sterk kan afwijken van de tabelwaarden. Metingen op proefbedrijf 'De Marke' laten bij graskuilen een gemiddelde afwijking van 7% ten opzichte van de tabelwaarden zien. Voor individuele kuilen kan dat oplopen tot 30%. De gemiddelde afwijking bij maïskuilen is veel kleiner, maar de schatting van individuele kuilen op basis van de tabelwaarden kan nog 10% afwijken ten opzichte van de metingen.

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) was dat in de praktijk de dichtheid (kg drogestof/m^3) van zowel gras- als maïskuilen sterk varieert. Deze in de praktijk gemeten variatie in kuildichtheid tussen kuilen is groter is dan de maximale verschillen binnen de gangbare tabelnormen. Deze verschillen kunnen leiden tot een onjuiste berekening van de bedrijfsspecifieke excretie. De bevindingen uit het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) worden bevestigd door een ervaringen van Koeien & Kansen bedrijven en enkele veevoerleveranciers (Agrifirm Feed, De Heus Voeders, ForFarmers).

Steeds meer bedrijven gaan deelnemen aan de BEX. Daarmee wordt de rol van BEX in het mestbeleid groter. Daarmee wordt ook de nauwkeurigheid van het systeem steeds belangrijker. Een andere belangrijke ontwikkeling is de uitbreiding van de BEX met bedrijfsspecifieke fosfaatsnormen (BEP) als instrument om evenwichtsbemesting met fosfor (P) te realiseren. Voor de individuele veehouder betekent een onderschatting van de ruwvoervoorraad (te lage schatting van de kuildichtheid) een lagere hectareopbrengst voor gras- of maïsland. Lagere hectareopbrengsten betekenen een geringere P-onttrekking door het gewas en dus een kleinere plaatsingsruimte van fosfaat op het bedrijf. Wanneer de afwijkingen, zoals gevonden op 'De Marke', worden doorgerekend, dan kan dat gevolgen hebben voor de mestafzetkosten. Deze kunnen voor een gemiddeld bedrijf oplopen tot ruim EUR 16 per koe per jaar.

Een verbeterde dichtheidsbepaling leidt tot nauwkeuriger BEX-berekeningen. Het draagvlak voor de BEX als instrument om de mineralenverliezen uit de melkveehouderij te verminderen zal daardoor worden versterkt.

Een betere dichtheidsbepaling leidt tot een nauwkeuriger schatting van de ruwvoeropbrengsten. Dit biedt meer mogelijkheden om via BEP evenwichtsbemesting te bereiken. Daarnaast zal met betere partijmetingen ook het management rond de ruwvoerteelt op bedrijven worden geoptimaliseerd.

1.2 Doelstelling

Doel van dit onderzoek is om door middel van een literatuurstudie de huidige stand van zaken rondom het bepalen van de dichtheid van maïs- en graskuilen in beeld te brengen. Daarbij zal vooral worden gekeken naar diverse methoden om de dichtheid vast te stellen. Tevens zal een inventarisatie en evaluatie van rekenmodellen voor het schatten van de kuildichtheid worden uitgevoerd.

2 Literatuurstudie

2.1 Dichtheid van silages

Er is veel onderzoek gedaan naar de dichtheid van ingekuuld ruwvoer in verband met de conservering en de preventie van broei (Beeker, 2003, Resch, 2008, Ruppel et al., 1995, Schoers, 2003). Daarnaast zijn er studies gedaan naar de kuildichtheid met het oog op het vergroten van de benutting van de silocapaciteit (Muck and Holmes, 2000). Echter, met uitzondering van het werk van Van Schooten en Van Dongen (2007) zijn er geen studies gepubliceerd naar schattingen van de dichtheid van silages in verband met voorraad- en opbrengstmetingen.

2.2 Het belang van verdichting en dichtheid bij de conservering van ruwvoer

Broei wordt veroorzaakt door te veel lucht of luchttoetreding in de kuil. Dit kan worden verminderd door een hoge kuildichtheid. Inkuilen is een anaeroob proces waarbij door microbiële fermentatie een daling van de pH wordt bewerkstelligd. Inkuilen komt neer op het zo snel mogelijk beëindigen van de ademhaling. Bij homofermentatieve melkzuurbacteriën zetten wateroplosbare koolhydraten, mono- en disachariden om in melkzuur. Heterofermentatieve melkzuurbacteriën vormen naast melkzuur ook azijnzuur, ethanol en CO₂. De accumulatie van melkzuur zorgt voor een daling van de pH. Wanneer de pH voldoende laag is, stopt het fermentatieproces. Voor een goede fermentatie is het nodig dat er voldoende suikers beschikbaar zijn, snelle, luchtdichte afsluiting van de kuil, een relatief lage temperatuur van het ingekuilde materiaal en een startpopulatie melkzuurbacteriën.

2.3 Voerparameters van invloed op de kuildichtheid

2.3.1 Dichtheid en verdichtbaarheid van kuilvoer

De dichtheid en de verdichtbaarheid van kuilvoer hangt af van een aantal fysische en chemische factoren waaronder het drogestofgehalte (DS), het ruwe celstofgehalte, het celwandgehalte en de deeltjesgrootte. Daarnaast speelt een aantal managementfactoren een rol waaronder de intensiteit van het vastrijden, de afmetingen en hoogte van de kuil, de afdekmethode, de aanvoersnelheid van het voer bij inkuilen, de laagdikte van het product dat op de kuil wordt gebracht en de haksellengte. Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de invloed van voerparameters op de dichtheid en de verdichtbaarheid van kuilvoer. De invloed op de dichtheid heeft betrekking op het verband tussen de voerparameter en de uiteindelijk gemeten dichtheid. De verdichtbaarheid heeft betrekking op het gemak waarmee de dichtheid kan worden beïnvloed.

2.3.2 Drogestofgehalte

Het drogestofgehalte van ruwvoer heeft invloed op de gemeten dichtheid (o.a. Ahmels and Isensee, 1994, Beeker, 2003, Bernier-Roy et al., 2001, McGeachan, 1990, Messer and Hawkins, 1977a, b, Muck and Holmes, 2000, Resch, 2008, Spiekers and Schiborra, 2002). Echter, de relatie tussen het drogestofgehalte en de dichtheid is complex en afhankelijk van voersoort en het traject waarin wordt gemeten. Een positief lineair verband tussen het drogestofgehalte en de dichtheid werd bij graskuil gemeten in het traject van 20 tot 40% DS en bij snijmaïs in het traject tussen 28 - 33% DS (Spiekers, 2002). Muck & Holmes (1999) stelden een curvilineair verband vast tussen het drogestofgehalte en de dichtheid van snijmaïs en luzernesilages, waarbij het effect van de toename van het drogestofgehalte steeds minder groot wordt. Beeker (2003) stelde vast dat bij snijmaïs een toename van het drogestofgehalte boven 35% geen effect meer heeft op de dichtheid.

2.3.3 Ruwe celstof- en celwandgehalte

Onderzoek van Dernelde (1983) heeft een nauwe correlatie aangetoond tussen het ruwe celstofgehalte en de verdichtbaarheid van kuilvoer. Verouderd gras bevat meer ruwe celstof en heeft een hoger celwandgehalte. Een hoog ruwe celstofgehalte gaat gepaard met een grotere stugheid en daardoor een geringere verdichtbaarheid. Een hoog ruwe celstofgehalte en celwandgehalte gaan bij graskuil in het algemeen gepaard met lagere verteerbaarheid van de organische drogestof. Een hoger celwandgehalte heeft tevens een effect op de mate van verkleining bij hakselen of snijden. Bij een toenemend ADF-gehalte is de weerstand tegen verkleining groter en neemt de gemiddelde

deeltjesgrootte toe (Ruppel et al., 1995). Hakselen en verkleinen heeft een positief effect op de verdichtbaarheid van kuilvoer (Dernedde, 1983, Leurs, 2006, McGechan, 1990)). Het ruwe celstofgehalte, het celwandgehalte en de verteerbaarheid zijn sterk negatief gecorreleerd. Veteerbaarheid zou mogelijk in aanvulling op het celwandgehalte gebruikt kunnen worden om de verdichting en verdichtbaarheid te schatten (McGechan, 1990).

D'Armours & Savoie (2005) constateerden bij snijmaïskuil een positief verband tussen het korrelaandeel en de dichtheid van de kuil. Bij snijmaïs gaat een hoog korrelaandeel gepaard met een laag ruwe celstof- en celwandgehalte en vaak ook met een hoger drogestofgehalte.

2.4 Inkuilmanagement en kuildichtheid

Onder inkuilmanagementfactoren worden de factoren verstaan die verband houden met de werkwijze van inkuilen en die niet aan het gewas zijn gerelateerd. Dit zijn onder andere intensiteit van verdichting, haksellengte en grootte van de kuil.

2.4.1 Haksellengte en deeltjesgrootte

Een kleinere haksellengte en een kleinere deeltjesgrootte verhogen de verdichtbaarheid van kuilvoer (Dernedde, 1983, McGechan, 1990, Messer and Hawkins, 1977b). In een studie van Leurs met laboratoriumsilo's met ingekuilde snijmaïs met verschillende haksellengtes (5,5, 15, 21 mm) en verschillend drogestofgehaltes bleek dat een grotere haksellengte een negatief effect heeft op de dichtheid. Dit verband werd sterker bij een hoog drogestofgehalte. Bij een drogestofgehalte boven de 40% had de haksellengte een zeer sterk effect op de dichtheid van snijmaïskuil. Deze was bij 21 mm circa 25% lager dan bij 5,5 mm hakselen.

In een studie met graskuilen was er alleen een tendens naar een afnemende dichtheid waarneembaar bij een toename van de snijlengte (Resch, 2008).

2.4.2 Verdichtingsintensiteit

De verdichtingsintensiteit wordt beïnvloed door het materiaal (trekker, wiellader) waarmee de kuil wordt verdicht. De factoren die in dit verband een rol spelen zijn het (gezamenlijk) gewicht van gebruikte trekkers en wielladers, bandcontactoppervlakte (breedte van de banden, dubbellucht), bandenspanning en de effectieve vastrijtijd (Bernier-Roy et al., 2001, Darby and Jofriet, 1993, Muck and Holmes, 2000, Resch, 2008, Ruppel et al., 1995). De inkuilmethode heeft ook effect op de dichtheid. In het algemeen is de gemiddelde dichtheid van ronde balen lager dan van rijkuilen (Resch, 2008).

Een ander aspect is het gebruikte afdek materiaal. In buitenlandse studies wordt vaak geen gronddek of een andere soort verzwarende toegepast. Een gronddek leidt tot een hogere verdichting (Handboek Melkveehouderij, 2011). Ook de wijze van opslag heeft invloed op de dichtheid. De kuildichtheid van sleufsilo's is gemiddeld hoger dan van rijkuilen.

2.4.3 Aanvoersnelheid

Een hogere aanvoersnelheid (ton of m³ vers of drogestof per tijdseenheid) van het gewas heeft - bij hetzelfde verdichtingsmateriaal - een lagere dichtheid van de kuil tot gevolg (Muck & Holmes, 1999, Ruppel, 1993, Savoie & D'Armours, 2008, Resch, 2008). Een andere factor die verband houdt met de aanvoersnelheid en verdichtingsintensiteit is de dikte van de laag van het gewas dat op de kuil voor het vastrijden wordt aangebracht. Een geringere laagdikte resulteert in een hogere dichtheid (Bernier-Roy et al., 2001, Muck and Holmes, 2000).

2.4.4 Afmetingen

Een andere factor is de afmetingen van de kuil. Een grotere hoogte resulteert in een grotere zelfcompactie waardoor de dichtheid toeneemt. Kuilen zijn over het algemeen niet overal even hoog, aan de zijanten en voor- en achterzijde lager dan in het midden van de kuil. Hierdoor varieert ook de dichtheid binnen gras en snijmaïskuilen (Savoie & D'Armours, 2008; D'Armours & Savoie, 2005, Schoers, 2003, Van Schooten en Van Dongen, 2009). Als maat voor de hoogte van een kuil worden zijwandhoogte (sleufsilo's), gemiddelde hoogte, maximale hoogte en vloeroppervlakte per ton vers ingekuild product gebruikt.

2.5 Modellen

2.5.1 Verklarende invoervariabelen in modellen voor schatten van dichtheid van silages

Het meten van de dichtheid van kuilen door middel van het wegen van het geoogste product en meting van het volume is een kostbaar en arbeidsintensief werk. Daarom is het routinematig meten van de kuildichtheid ten behoeve van een juiste voorraadbepaling voor de BEP en de BEX geen realistische optie. Het beste alternatief hiervoor zijn empirische rekenmodellen waarmee op basis van eenvoudige en lage kosten voor wat betreft de te verkrijgen informatie, de dichtheid van een kuil kan worden geschat.

In het buitenland zijn diverse modellen gepubliceerd (tabel 1). Deze modellen zijn alle ontwikkeld vanuit de achtergrond om het inkuilmanagement te verbeteren. Dat wil zeggen, de factoren die de dichtheid van een kuil beïnvloeden in beeld te brengen en deze informatie te gebruiken om de kuildichtheid te verhogen. Doel hiervan is uiteindelijk verliezen aan voer en voerkwaliteit door broei en nabroei te verminderen. Geen van de modellen is ontwikkeld vanuit het oogpunt van voorraadbepaling, zoals noodzakelijk is voor wettelijke borging van de BEX of BEP. Bij de ontwikkeling van in de literatuur beschreven modellen heeft men zich primair gericht op een correcte voorspelling van de dichtheid, zonder daarbij rekening te houden met aspecten van wettelijke borging en de mate van handhaven. Hiervoor worden verklarende invoervariabelen gebruikt die wel essentieel zijn voor het schatten van de dichtheid van kuilen maar op geen enkele wijze geborgd kunnen worden. In tabel 1 is een overzicht gegeven van de modellen en de benodigde invoervariabelen.

Tabel 1. Verklarende invoervariabelen voor verschillende modellen voor het voorspellen van dichtheid van ingekuuld ruwvoer.

	Gewas ¹⁾	Silo ²⁾	Drogestof	Ruwe Celstof	Celwanden ³⁾	Hakselengte	Vastrijtijd	Laagdikte	Trekker gewicht	Aanvoersnelheid	Siloformaat ⁴⁾	Silotype	Afdekking
(Messer and Hawkins, 1977a)	G	R,S	X										
(Messer and Hawkins, 1977b)	S	R,S	X										
(McGechan, 1990)	G G	R,S R,S	X X		X	X							
(Darby and Jofriet, 1993)	GPS G	S S							X				
(Ruppel et al., 1995)	L	S					X	X	X	X	X (O)		
(Muck and Holmes, 2000)	L S	S S	X X				X X	X X	X X	X X	X (W) X (W)		
(D'Amours and Savoie, 2005)	S	S											
(Savoie and D'Amours, 2008)	G	S								X			
(Resch, 2008)	G G	R,S B	X X	X X					X				
Handboek Melkveehouderij (2011)	G,S	R,S	X								X (H)	X	X

¹⁾ G = graskuil, S = snijmaïskuil, L= Luzernekuil, GPS = gehele planten silage

²⁾ R= rijkuil, S= sleufsilos B= ronde balen

³⁾ Celwanden= ADF Acid Detergent Fiber

⁴⁾ O= vloeroppervlakte, W= zijwandhoogte, H= gemiddelde hoogte

2.5.2 Toepassingsgebied

Empirische modellen zijn alleen geschikt voor het doen van voorspellingen binnen de spreiding van de onderliggende dataset. Dat wil zeggen, empirische modellen zijn specifiek voor het voertype, de (chemische) samenstelling van het voer en het inkuilsysteem (sleufsilos, rijkuil, balen). Toepassing van modellen buiten dit gebied kan leiden tot onjuiste voorspellingen van de dichtheid.

Wanneer een model wordt toegepast onder Nederlandse omstandigheden, dan moet het model dus ook zijn gebaseerd op gegevens die vergelijkbaar zijn met de situatie in Nederland. Bijvoorbeeld, een model dat ontwikkeld is op basis van gegevens van sleufsilos mag alleen worden toegepast voor sleufsilos. Of bijvoorbeeld een model dat ontwikkeld is op basis van gegevens van luzernekuilen kan alleen betrouwbare informatie geven wanneer het ook wordt toegepast om de dichtheid van luzernekuilen te voorspellen.

Daarnaast is het ook van belang om de omvang van de dataset waarop het model gebaseerd is in ogenschouw te nemen. Sommige modellen zijn gebaseerd op datasets van 6 kuilen (D'Amours and Savoie, 2005), terwijl andere modellen op basis van de gegevens van 1.282 kuilen (Resch, 2008) tot stand zijn gekomen. In tabel 2 is, indien beschikbaar, van elk van de modellen een beknopte beschrijving van de onderliggende datasets gegeven.

2.5.3 Evaluatie van rekenmodellen

2.5.3.1 Borging en controleerbaarheid inputvariabelen rekenmodellen

Rekenmodellen die invoervariabelen nodig hebben die niet of in onvoldoende mate zijn te borgen, zijn ongeschikt voor een juiste bepaling van de voervoorraden voor BEX en BEP. Dit zijn met name de invoervariabelen, gerelateerd aan de verdichtingsintensiteit, zoals de gemiddelde dikte van de laag die op de kuil wordt aangebracht, de tijd die wordt besteed aan het vastrijden, de aanvoersnelheid van het geoogste materiaal en machinekarakteristieken zoals gewicht, bandenspanning en wieldruk van de trekker of shovel op de kuil en de haksellengte. Uit tabel 1 blijkt dat zeven van de negen buitenlandse modellen voor het schatten van de kuildichtheid één of meerdere van de dergelijke invoervariabelen nodig hebben die niet of in onvoldoende mate zijn te borgen.

2.5.3.2 Gevoeligheid voor variatie in de inputvariabelen

Om te onderzoeken hoe groot de invloed is van bepaalde invoerparameters van rekenmodellen is op de voorspelde kuildichtheid een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Elke parameter werd gevarieerd binnen een range. De gevoeligheid is in tabel 3 weergegeven als de ratio van de mate waarmee de kuildichtheid verandert ten opzichte van de mate van verandering van de invoerparameterwaarde. Hoge waarden duiden op een grote gevoeligheid voor de relatieve verandering van de invoerparameter. Echter, het is belangrijk om ook de absolute variabiliteit van de invoerparameter in acht te nemen. Bijvoorbeeld, het model van Savoie en D'Armours (2008) heeft een parametergevoeligheid van 0.9 voor het gewicht van de trekker. Als het gewicht van de trekker met 10% verandert, dan verandert de voorspelde dichtheid met 9% ($0.9 \times 10\%$). Een onder- of overschatting van het gewicht met 1.000 kg zal bij een trekker van 10 ton leiden tot een 9% hogere of lagere voorspelde dichtheid. Normaal gesproken is het gewicht van de trekker goed na te gaan en is dit praktisch onveranderlijk. Ondanks een grote relatieve gevoeligheid van het model voor het gewicht van de trekker, zullen de effecten van een onjuiste aanname van het gewicht van de trekker gering zijn. In dat geval is het mogelijk om bij praktische toepassing in de praktijk een standaardwaarde (default) te hanteren. Het model van Muck en Holmes (2000) heeft een relatieve gevoeligheid van 0.28 voor de laagdikte van los materiaal dat op de kuil wordt gebracht. De standaardwaarde in dit model is 15 cm. Afwijkingen van 100% (een laagdikte van 30 cm in plaats van 15 cm) zullen resulteren in een 28% lagere voorspelde dichtheid. Ondanks een lage relatieve gevoeligheid voor variatie van deze invoerparameter, kan een geringe absolute verandering grote effecten hebben op de berekende dichtheid van de kuil.

Tabel 2. Omschrijving van de onderliggende data (gemeten) die gebruikt zijn voor de ontwikkeling van modellen voor het voorspellen van de dichtheid van gras- en snijmaïskuilen.

	Product	Gem. dichtheid (kg DS/m ³)	Spreiding dichtheid (kg DS/m ²)	Opslag ¹⁾	Gem. DS (g/kg)	Spreiding DS (g/kg)	Kg Vers product/m ³	Ruwe celstof (g/kg DS)	ADF (g/kg DS)	Haksellengte (mm)	Bepalingsmethode ²⁾	R ²	Aantal
(Messer and Hawkins, 1977b)	Graskuil	150	134-174	S		170-570	233-993	297-349		16-20	V+W	0.97	15
(Messer and Hawkins, 1977a)	Snijmaïskuil	180	174-194	S		170-400	349-772	220-261		6-32	V+W	0.95	10
(McGechan, 1990))	Graskuil		170-295	S,R		250-500	200-900				Literatuur data		
(Darby and Jofriet, 1993)	Gerst-GPS kuil		208-256	S*							Boorkernen		
	Graskuil		226-294	S	385	259-546							
(Ruppel et al., 1995)	Luzernekuil	237	200-330	S					280-390		V+W	0.24	30
(Muck and Holmes, 2000)	Luzernekuil	237	106-434	S	420	240-670	210-980	210-980			Boorkernen		87
	Snijmaïskuil	232	125-378	S	340	250-460	370-960	370-960					81
(Bernier-Roy et al., 2001)	Snijmaïskuil		148-195	S									
	Graskuil		137-288	S		350-500							
(D'Amours and Savoie, 2005)	Snijmaïskuil		115-361	S		232-442					Boorkernen	0.95	6
(Savoie and D'Amours, 2008)	Graskuil		206-354	S		323-447					Boorkernen	0.92	7
(Resch, 2008)	Graskuil	182		S,R,B	386			264					1893
	Graskuil rijkuilen	195		S,R	374			265		>30	Blok V+W, Boorkernen	0.24	1282
	Graskuil Balen												
	Vaste perskamer	147		B	417			264			V+W	0.25	275
	Graskuil Balen												
	Variabele perskamer	166		B	417			264			V+W	0.21	336

¹⁾ S = sleufsilo's, R = rijkuiken, B = balen

²⁾ V+W = volumemeting en weging van ingekuuld product van de gehele kuil en drogestofbepaling, Blok V+W = volumemeting en weging van uitgesneden kuilblokken en drogestof bepaling.

Tabel 3. Gevoeligheid van de modellen voor variatie in invoerparameters, weergegeven als de ratio van de mate waarmee de kuilichtheid verandert ten opzichte van de mate van verandering van de invoerparameterwaarde. Hoge waarden duiden op een grote gevoeligheid.

		Drogestof gehalte	Ruwe celstof gehalte	ADF gehalte	Gewicht trekker	Vloeroppervlakte silo	Hoogte	Zijwandhoogte	Laagdikte	Wieldruk	Korrelaandeel	Uren	Vastrijtijd	Vastrijtijd per vracht	Verdeeltijd per vracht	Aantla vrachten per uur	Ton drogestof per uur
(Messer and Hawkins, 1977b)	Graskuil	0.42															
(Messer and Hawkins, 1977a)	Snijmaïskuil	0.25															
(McGechan, 1990))	Graskuil	0.81															
	Graskuil	0.74		0.25													
(Darby and Jofriet, 1993)	Gerst-GPS				0.19												
	Graskuil				0.19												
(Ruppel et al., 1995)	Luzernekuil				0.19	0.11						0.12					
(Muck and Holmes, 2000)	Luzernekuil	0.13			0.22			0.02	0.28				0.11				
	Snijmaïskuil	0.12			0.20			0.02	0.26				0.10				
(Bernier-Roy et al., 2001)	Snijmaïskuil								0.14	0.39							
	Graskuil	1.20								0.38							
(D'Amours and Savoie, 2005)	Snijmaïskuil						0.27				0.44						
(Savoie and D'Amours, 2008)	Graskuil	0.26			0.90									0.42	0.44	0.87	0.97
(Resch, 2008)	Graskuil algemeen	0.43	0.41		0.08												
	Graskuil rijkuilen	0.42	0.36														
	Graskuil Balen Vaste perskamer	0.42	0.60														
	Graskuil Balen Variabele perskamer	0.43	0.43														

2.5.3.3 Evaluatie voorspelnauwkeurigheid rekenmodellen

De voorspelnauwkeurigheid van een aantal modellen is onderzocht op basis van gegevens van metingen van de kuildichtheid van 9 graskuilen en 13 snijmaïskuilen, uitgevoerd door Van Schooten en Van Dongen (2007). De voorspelnauwkeurigheid werd beoordeeld op basis van de *mean square prediction error* (MSPE), *mean prediction error*, (MPE) en de *relative prediction error* RPE. De MSPE is berekend als: $MSPE = \sum(\text{gemeten dichtheid} - \text{voorspelde dichtheid})^2 / \text{aantal waarnemingen}$. De MPE is de wortel uit de MSPE ($MPE = \sqrt{MSPE}$). De RPE is berekend als: $RPE = MPE / \text{gemeten dichtheid} \times 100\%$. Op basis van de criteria van Fuentes-Pila (1998) wordt de voorspelnauwkeurigheid van een model met een RPE kleiner dan 10% als goed beoordeeld en modellen met een RPE kleiner dan 20% als acceptabel (Fuentes-Pila et al., 1996). Van modellen met een RPE gelijk aan of groter dan 20% wordt de voorspelnauwkeurigheid als onvoldoende beschouwd.

De beschikbare gegevens uit het onderzoek van Van Schooten and Van Dongen (2007) waren: de gemeten dichtheid, de chemische samenstelling, de hoogte, de zijwandhoogte en het gewicht van de trekker of shovel die is gebruikt bij het aanrijden van de kuil. De gemeten dichtheid was berekend op basis van het gewicht, het volume en het drogestofgehalte van de uitgesneden blokken. Er waren onvoldoende gegevens over het inkuilmanagement (aanvoersnelheid, laagdikte, tijdsduur van vastrijden) beschikbaar om met de modellen van Ruppel (1993), Muck & Holmes (1999), Savoie & D'Armours (2008) voorspellingen te doen van de kuildichtheid. Het model van D'Armours & Savoie (2005) is buiten beschouwing gelaten wegens het ontbreken van gegevens over het korrelaandeel van snijmaïs. De resultaten van de validatie staan vermeld in tabel 4. Hieruit blijkt dat de RPE van alle modellen gelijk aan of groter dan 20% is.

In figuur 1 en 2 zijn de gemeten kuildichtheden en voorspelde kuildichtheden (op basis van bestaande modellen) tegen elkaar uitgezet. De afwijking van de lijn, gemeten (x) en voorspelde dichtheid (y), laat een toenemende onderschatting van de voorspelde kuildichtheid zien bij een hoge gemeten kuildichtheid. Op basis van de slechte voorspelnauwkeurigheid kan worden geconcludeerd dat de rekenmodellen, gepubliceerd in de literatuur, niet geschikt zijn om de kuildichtheid van Nederlandse gras- en snijmaïskuilen voldoende nauwkeurig te schatten.

Tabel 4. Voorspelnauwkeurigheid van verschillende modellen op basis van de Means Square Prediction Error (MSPE, $= \sum(\text{gemeten dichtheid} - \text{voorspelde dichtheid})^2 / \text{aantal waarnemingen}$, Mean Prediction Error (MPE= \sqrt{MSPE}), en Relative Prediction Error (RPE=MPE/gemeten dichtheid $\times 100\%$).

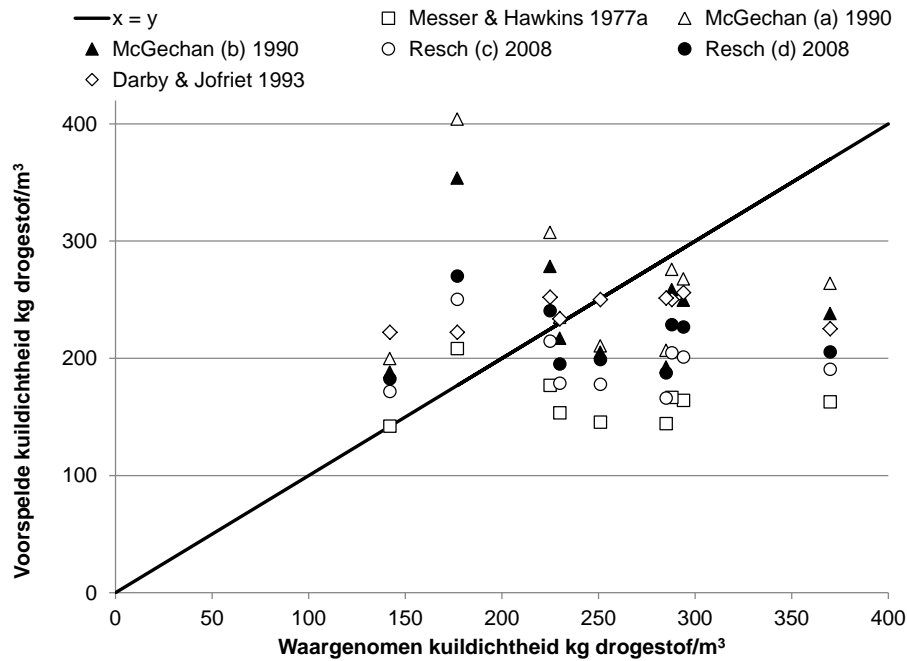
Model	Voersoort	MSPE (kg ds/m ³) ²	MPE (kg ds/m ³)	Gemiddelde Afwijking (kg ds/m ³)	RPE (%)
graskuil					
(Messer and Hawkins, 1977b)	graskuil	12744	113	-89	45
(McGechan, 1990) ^a	graskuil	9061	95	12	38
(McGechan, 1990) ^b	graskuil	7473	86	-9	34
(Resch, 2008) ^c	graskuil	8484	92	-56	37
(Resch, 2008) ^d	graskuil	6580	81	-36	32
(Darby and Jofriet, 1993)	graskuil	3796	62	-11	25
snijmaïskuil					
(Messer and Hawkins, 1977a)	snijmaïs	9636	98	-84	37
(Darby and Jofriet, 1993)	snijmaïs	2894	54	-21	20

^a Model met drogestofgehalte als verklarende variabele (zie tabel 3)

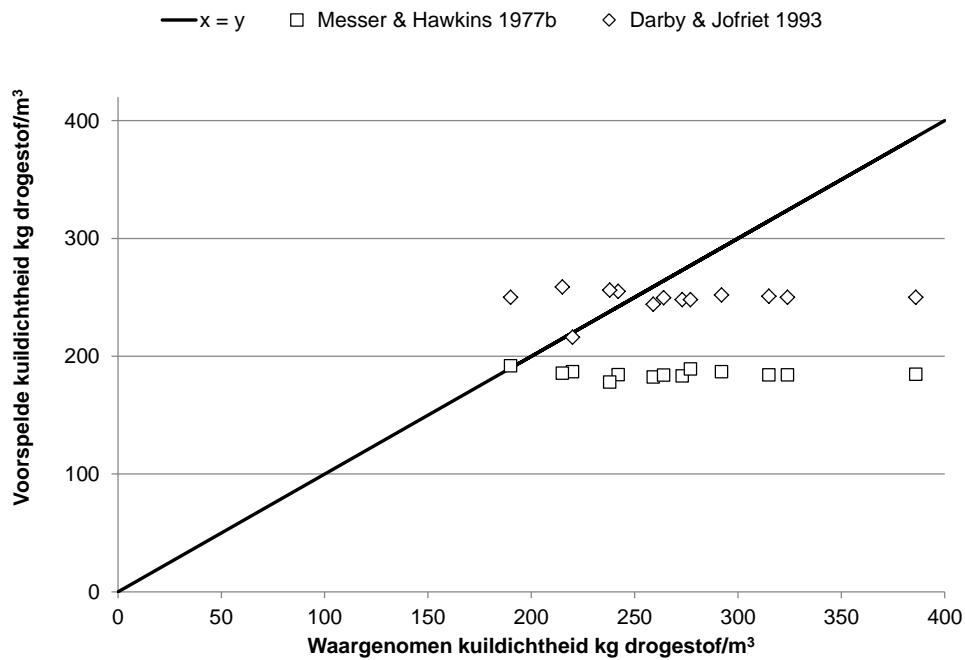
^b Model met drogestofgehalte en ADF als verklarende variabele (zie tabel 3)

^c Model voor rijkuilen met drogestof en ruwe celstof als verklarende variabele (zie tabel 3)

^d Model voor rijkuilen met drogestof, ruwe celstof en gewicht trekker als verklarende variabele (zie tabel 3).



Figuur 1. Relatie tussen waargenomen dichtheid van graskuilen en voorspelde dichtheid op basis van bestaande modellen



Figuur 2. Relatie tussen waargenomen dichtheid van snijmaïskuilen en voorspelde dichtheid op basis van bestaande modellen

3 Alternatieve mogelijkheden voor dichtheidsmetingen van gras- en maïskuilen

De bestaande rekenmodellen om de dichtheid van graskuilen te bepalen voldoen niet. Daarom is het noodzakelijk om alternatieven te ontwikkelen om tot een correcte bepaling van de voervorraden voor BEX en BEP te komen. In deze paragraaf wordt een aantal mogelijkheden op een rij gezet.

3.1 Directe dichtheidsmetingen

3.1.1 Penetrometers

Penetrometers zijn meters die de indringingsweerstand meten. Penetrometers worden onder andere gebruikt om de mate van bodemverdichting te meten. De indringingsweerstand kan gerelateerd worden aan de dichtheid van gras- en maïskuilen.

De indringingsweerstand neemt toe in de hoogte van onderen naar boven, in de breedte van de zijkant naar het midden (Maack, 2009). Die variatie vraagt een complexe kalibratie van de gemeten weerstand als maat voor de dichtheid van de kuil. Door deze variatie is het nodig veel metingen van de dichtheid te verrichten.

In een onderzoek heeft Schoers (2003) twee penetrometers met elkaar vergeleken (Penetrometer ontwikkeld door het Institut für Landtechnik en een commercieel verkrijgbare penetrometer (Eijkelkamp)). Afgezien van technische problemen (breken van sondes) bleek dat kwantitatieve dichtheidsmetingen met penetrometers niet mogelijk zijn. Penetrometers geven wel in kwalitatieve zin inzicht het verloop van de dichtheid maar penetrometers zijn niet geschikt voor kwantificering van de dichtheid van kuilen (Schoers, 2003).

3.1.2 Boormonsters

In deze paragraaf worden drie methoden van dichtheidsbepaling met boormonsters beschreven.

1. Boormonsters vanaf snijvlak
2. Siloboy.
3. Boormonsters voor voederwaardeanalyse

De toepassing van methode "Boormonsters vanaf snijvlak" is beperkt omdat het alleen toegepast kan worden bij geopende kuilen. In het snijvlak wordt op verschillende plaatsen met een ronde holle boor (45 mm diameter, 450 mm lang, (Kleinmans et al., 2005); 73 mm diameter, 180 mm lang (D'Amours and Savoie, 2005)) een boormonster genomen. Met het bekende volume van de holle boor, het gewicht en het drogestofgehalte van het monster is dichtheid van de kuil te berekenen. Een praktische nadeel van deze methode is dat er soms materiaal uit de holle boor in de kuil achter blijft. Daarnaast moeten in verband met de variatie in dichtheid in de hoogte en breedte veel monsters worden genomen. D'Amours en Savoie (2005) geven aan dat tenminste 24 gelijkmatig verdeelde monsters uit het snijvlak nodig zijn om een representatieve schatting van de dichtheid te verkrijgen. Omdat deze methode alleen toegepast kan worden bij geopende kuilen is deze methode ongeschikt voor bepaling van de voervorraden voor BEX en BEP.

De Siloboy is ontwikkeld door de Fa. Paus (Borken, Duitsland) voor het bepalen van de dichtheid van gesloten kuilen. De Siloboy is getest op het onderzoekcentrum Haus Riswick.

De Siloboy bestaat uit een stellage waarmee een monsternamebuis met snijkop (30 mm diameter voor graskuil, 40 mm diameter voor snijmaïs) vanaf de bovenzijde met een hamer in de kuil wordt geslagen. Uit de boordiepte en de diameter van de boorbuis wordt het volume van de bemonsterde kuil berekend. De gemiddelde dichtheid van de kuil (kg ds/m^3) over de gehele monsterdiepte wordt berekend na het drogen en wegen van de boorkern.

De Siloboy is in de eerste plaats ontwikkeld voor onderzoeksdoeleinden. Bij graskuilen bleken de gemeten dichtheden op basis Siloboy monsters goed overeen te komen met de dichtheden van de controlemethode (blokken wegen). Echter, bij snijmaïs waren de resultaten minder goed, mogelijk door verlies van materiaal uit de boorbuis. Een nadeel van de Siloboy is dat het instrument groot en zwaar is waardoor het slecht hanteerbaar is. Dit belemmert een brede toepassing in de praktijk voor routinematige metingen. Een ander nadeel is de beperkte monsterdiepte, waardoor bij grote kuilen het moeilijk is om een representatief monster te nemen.

Van Schooten en Van Dongen (2007) onderzochten ook de mogelijkheid om met behulp van boormonsters de dichtheid te bepalen. In het onderzoek werden standaard boren gebruikt waarmee in de praktijk kuilmonsters voor voederwaardeanalyse worden genomen. De boor voor graskuil had een diameter van 20 mm en die voor maïskuil had een diameter van 30 mm. Bij maïskuilen werden met de boormethode gemiddeld veel lagere dichtheden gemeten (ruim 45% lager) dan met de referentiemethode waarbij blokken werden gewogen. Daarnaast was de relatie tussen de beide methoden erg zwak ($R^2=0,19$). Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat het bepalen van de dichtheid van snijmaïskuilen met behulp van boormonsters onvoldoende perspectief biedt. Bij graskuilen kwamen de dichtheden, gemeten met de boormethode gemiddeld beter overeen met de dichtheden, gemeten met de blokmethode dan bij maïskuilen. De boormethode kwam gemiddeld 13% lager uit dan de blokmethode. Daarnaast was de relatie tussen de beide methoden sterker dan bij maïskuilen ($R^2=0,65$). Op basis hiervan lijkt een voorspelling van dichtheden van graskuilen met behulp van boormonsters meer perspectief te bieden dan van maïskuilen.

3.2 Nieuwe rekenmodellen

3.2.1 Praktisch toepasbare invoerparameters voor rekenmodellen

Een evaluatie van de nauwkeurigheid van modellen voor het berekenen van de kuildichtheid op basis van een Nederlandse dataset geeft aan dat deze modellen onvoldoende nauwkeurig zijn. Een deel van deze onnauwkeurigheid kan worden toegeschreven aan de onderliggende datasets van een te geringe omvang en/of niet representatief zijn voor gras- en snijmaïskuilen in Nederland. Wanneer rekenmodellen worden ingezet voor het schatten van de dichtheid, dan is het noodzakelijk om specifiek voor de Nederlandse omstandigheden nieuwe rekenmodellen te ontwikkelen.

Belangrijke randvoorwaarden zijn dat de invoerparameters eenvoudig en tegen lage kosten zijn te meten en dat borging en handhaving mogelijk is.

In tabel 5 is een overzicht opgenomen van de parameters die vaak voor berekeningsmodellen gebruikt worden. De invoerparameters die als eerste in aanmerking komen zijn de chemische samenstelling van de kuil, de zijwandhoogte van sleuvsilo's, het kuilvolume, de kuilhoogte en het gebruik van een gronddek. De invoerparameters inkuilcapaciteit, vastrijtijd en haksellengte vallen af omdat ze niet een eenvoudig zijn vast te stellen en nauwelijks te borgen zijn.

Tabel 5. Vergelijking van invoerparameters van rekenmodellen van de dichtheid van gras en snijmaïskuilen. + = gunstige waardering (eenvoudig te meten, goede borgingsmogelijkheden, lage kosten), 0 = neutrale waardering, - negatieve waardering

	Eenvoud	Borging	Kosten
Chemische parameters (drogestof, celwanden, VCOS etc.)	+	+	0/- ¹⁾
Inkuilmanagement			
Gronddek	+	0/-	+
Kuilhoogte	+	0/-	+
Zijwandhoogte (sleuvsilo)	+	+	+
Kuilvolume	+	0	0/- ¹⁾
Gewicht trekker	+	-	+
Inkuilcapaciteit (m ³ /u of ton/u)	-	-	+
Vastrijtijd (uren of uren/ton)	-	-	+
Haksellengte	-	-	+

¹⁾ Meerkosten zijn gering, chemische analyse en partijmeting behoren tot de standaardprocedure bij BEX en BEP

3.2.2 Correlaties tussen dichtheid, samenstelling en afmetingen van graskuil.

Met data van het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) is gekeken naar de correlaties mogelijke relaties tussen enerzijds de samenstelling en enkele kuilafmetingen van de graskuilen en anderzijds de dichtheid. Dit is gedaan met data van afzonderlijke kuilblokken die gewogen zijn. Het betreft 9 graskuilen waarvan 3 sleuvsilo's. In totaal zijn van deze kuilen 43 bemonsterde en gewogen kuilblokken meegenomen in de data-analyse.

In eerste instantie is er gekeken naar de individuele correlaties tussen de verschillende gemeten chemische parameters en de gewogen dichtheid van de blokken. De resultaten staan in tabel 6. Hieruit blijkt dat met name hoge gehalten aan NDF (celwanden), ADF, ADL en ruwe celstof gepaard gaan met een lagere dichtheid. Dit is in overeenstemming met bevindingen van Dernelde (1983) en Ruppel. Met name NDF, ADF en ADL lieten een sterke correlatie zien met de dichtheid. De correlatie tussen het ruwcelstofgehalte en de dichtheid was veel minder sterk.

Naast de gemeten chemische parameters is ook gekeken naar de correlaties tussen de afgeleide voerparameters en de kuildichtheid (Tabel 6). Uit de resultaten blijkt dat de VEM-waarde vrij sterk gecorreleerd is met de dichtheid ($R=0,65$). Dit kan worden verklaard uit het gegeven dat VEM-waarde wordt berekend uit de bruto energie (BE) en de metaboliseerbare energie (ME). De BE en ME worden op hun beurt weer berekend met een regressieformule waarin ruwe celstof (RC), suiker (SUI), as (AS), ruw vet (RVET) en de verteringscoëfficiënt van de verteerbare organische stof (VC-OS) zijn opgenomen (zie onderstaande formules).

$$BE=24.14RE+20.92RC+36.57RVET+16.99(1000-AS-RC-RE-RVET)-0.63*SUI$$

$$ME= 14.94*((1000-AS)*VCOS/100)+18.98*RVET-1.478*RE-0.97*SUI$$

$$VEM = 0.6*(1+0.004*(100*(ME/BE)-57))*0.9752*(ME/6.9)$$

De hoge correlatie tussen de VEM-waarde en de dichtheid houdt mogelijk verband met het NDF-gehalte. Een hoog NDF-gehalte gaat in het algemeen bij graskuil gepaard met een lagere verteerbaarheid van de organische stof en dus ook met een lager VEM-waarde. Deze relatie wordt bevestigd door het feit dat de correlatiecoëfficiënt tussen de VC-OS en de kuildichtheid ($R=0,69$) vergelijkbaar was met de correlatiecoëfficiënt tussen de VEM-waarde en de kuildichtheid (Tabel 6). Uit de analyse bleek tevens dat het drogestofgehalte een zwakke correlatie heeft met de dichtheid. Dit is in tegenstelling tot een aantal rekenmodellen (Messer & Hawkins, 1977, McGeachan 1990, Muck & Holmes, 1999, Savoie & D'Amours 2008, Resch 2008) waarin het drogestofgehalte als een verklarende variabele is opgenomen. Dit kan mogelijk te maken hebben met de spreiding van het drogestofgehalte. In Nederland wordt over het algemeen voordroogkuil gewonnen, waardoor de variatie in het drogestofgehalte mogelijk kleiner is dan in genoemde onderzoeken.

Tenslotte is ook gekeken naar de correlaties tussen enkele kuilafmetingen en de kuildichtheid (Tabel 6). Zowel de breedte als de wandhoogte hadden een vrij sterke negatieve correlatie met de dichtheid. De negatieve correlatie tussen de dichtheid en de wandhoogte lijkt tegenstrijdig met het feit dat een grotere kuilhoogte resulteert in een grotere zelfverdichting. Mogelijk speelt een interactie met de aanvoersnelheid een rol. Bij grotere silo's (op grotere bedrijven) is wellicht de aanvoersnelheid en de vastrij-intensiteit kleiner.

Tabel 6. Correlatiecoëfficiënten (R) tussen enerzijds, chemische parameters, afgeleide voerparameters en kuilafmetingen en anderzijds de dichtheid van graskuil.

Chemische parameters		Afgeleide voerparameters		Kuilafmetingen	
Drogestof	-0,10	VEM	0,65	Lengte kuil	-0,17
Ruw eiwit	0,61	DVE	0,50	Breedte kuil	-0,51
Ruwe celstof	-0,33	OEB	0,48	Hoogte kuil	0,24
Ruw vet	0,53	VEVI	0,66	Breedte:hoogte kuil	-0,37
Ruw as	-0,23	VOS	0,62	Wandhoogte	-0,52
VCOS	0,69	FOS	0,55		
Suiker	0,00	Structuurwaarde	-0,71		
NDF	-0,70				
NDF vertbh	0,66				
ADF	-0,64				
ADL	-0,69				
pH	-0,38				
NH ₃ fractie	-0,14				
Nitraat	0,46				
Melkzuur	0,08				

3.2.3 Regressieanalyse met data van graskuilen.

Op basis van de resultaten van de correlatieanalyse, beschreven in voorgaande paragraaf is een regressieanalyse uitgevoerd. Bij de regressieanalyse zijn alleen direct meetbare voerparameters zoals celwandparameters, ruwe celstof en VC-OS meegenomen omdat afgeleide voerparameters in de tijd soms aan veranderingen onderhevig zijn door aanpassingen van regressieformules.

Een regressievergelijking met de volgende drie verklarende termen gaf het hoogste percentage verklaarde variantie ($R^2 = 0,62$): 1. drogestofgehalte, 2. VC-OS en 3. gemiddelde hoogte. De laatste genoemde term betrof in de gebruikte dataset de hoogte van de blokken, maar bij toepassing van de vergelijking in de praktijk op kuilniveau, zal het de gemiddelde kuilhoogte betreffen. De uitkomst van de vergelijking was als volgt:

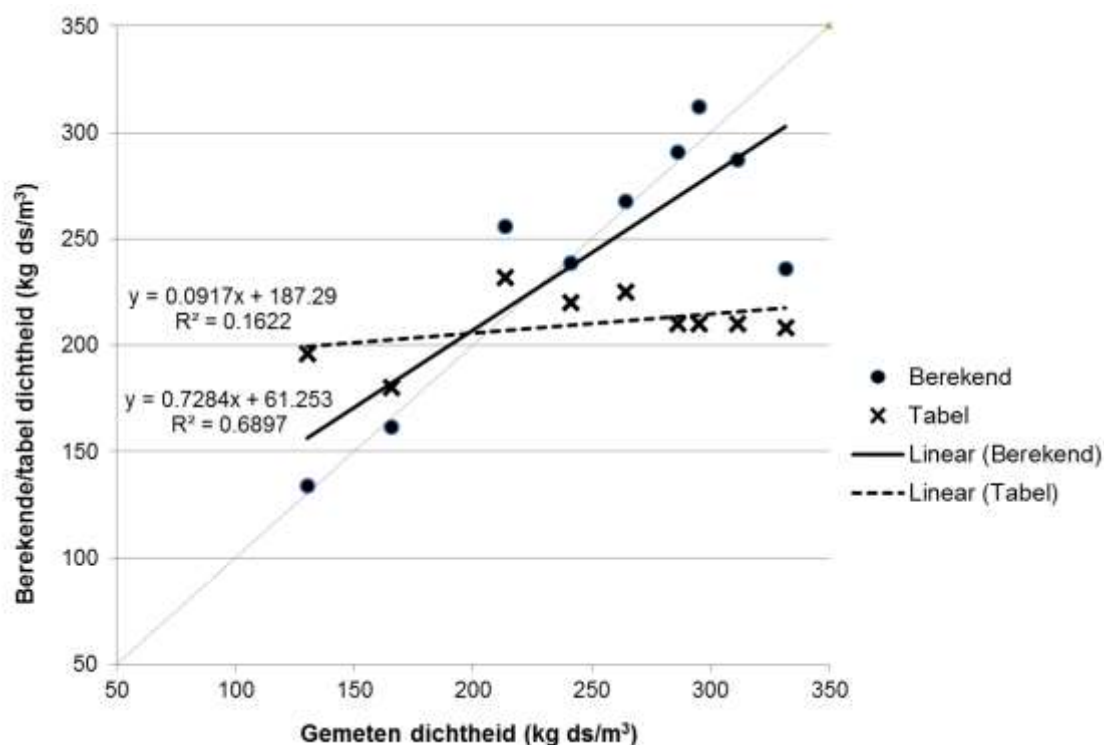
$$\text{Dichtheid (kg ds/m}^3\text{)} = -336 - (0.16 \times \text{DS (g/kg)}) + (7.80 \times \text{VCOS\%}) + (0.33 \times \text{gemiddelde hoogte (cm)})$$

De regressievergelijking is gebaseerd op zowel rijkuilen als sleufsilos. In tabel 7 zijn de gemeten graskuildichtheden (blokwegingen) uit het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) en de berekende kuildichtheden op basis van de regressievergelijking met elkaar vergeleken. Tevens zijn de gemeten kuildichtheden en de tabelwaarden uit het Handboek Melkveehouderij met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat het gemiddelde verschil tussen de berekende dichtheid en de gemeten dichtheid met -3% duidelijk kleiner is dan het gemiddelde verschil van -16% tussen de dichtheid op basis van de tabel en de gemeten dichtheid. Verder blijkt dat bij praktische alle individuele kuilen (op één na) de dichtheid, berekend met de regressievergelijking minder afwijkt van de gemeten dichtheid dan de tabelwaarde. Dit resulteerde in een sterkere relatie tussen de berekende dichtheid en de gemeten dichtheid ($R^2 = 0,69$) dan tussen de dichtheid op basis van de tabel en de gemeten dichtheid ($R^2 = 0,16$). Deze relaties zijn weergegeven in figuur 3.

Het aantal graskuilen in het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) was te klein om binnen de regressieanalyse een opsplitsing te maken in kuiltypen en afdekmethoden.

Tabel 7. Resultaten van vergelijking tussen gemeten graskuildichtheid en de tabelwaarden in het Handboek Melkveehouderij

Kuil-nr.	Kuil-type	Gronddek	Kuildichtheid (kg ds/m ³)			Verskil (%) t.o.v. gemeten	
			Gemeten	Berekend	Tabel	Berekend	Tabel
1	rijkuil	ja	130	134	216	3	65
2	sleufsilos	nee	332	236	229	-29	-31
3	rijkuil	nee	166	162	198	-2	20
4	rijkuil	ja	311	287	231	-8	-26
5	sleufsilos	nee	286	291	231	2	-19
6	sleufsilos	nee	264	268	248	2	-6
7	rijkuil	ja	295	312	231	6	-22
8	rijkuil	ja	241	238	242	-1	0
9	rijkuil	ja	214	256	255	20	19
Gemiddeld			249	243	231	-3	-7



Figuur 3. Relatie tussen enerzijds gemeten dichtheid van graskuilen en anderzijds de dichtheid, berekend op basis van de regressie formule en op basis van de tabelwaarden.

3.2.4 Correlaties tussen dichtheid, samenstelling en afmetingen van snijmaïskuilen

Evenals bij graskuilen is met data van het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) bij snijmaïskuilen gekeken naar de correlaties tussen enerzijds de samenstelling en enkele kuil- en silokarakteristieken van de graskuilen en anderzijds de gewogen dichtheid. De resultaten staan in tabel 8. De correlaties tussen praktisch alle parameters en de dichtheid waren zwak tot zeer zwak. Alleen de correlatie tussen de verhouding breedte : hoogte en de dichtheid was redelijk sterk ($R=0,58$), terwijl de correlatie tussen de breedte en de hoogte afzonderlijk en de dichtheid zwak tot zeer zwak was. In de dataset bestond echter een zeer sterk verband tussen de breedte en de hoogte van de kuilen ($R=0,86$). Dit heeft voor een redelijk sterk correlatie gezorgd tussen de combinatie de beide factoren breedte en hoogte en de dichtheid.

Tabel 8. Correlatiecoëfficiënten (R) tussen enerzijds, chemische parameters, afgeleide voerparameters en kuilafmetingen en anderzijds de dichtheid van snijmaïskuil.

Chemische parameters		Afgeleide voerparameters		Kuilafmetingen	
Drogestof	0,36	VEM	0,14	Lengte kuil	0,09
Ruw eiwit	-0,08	DVE	0,13	Breedte kuil	-0,04
Ruwe celstof	0,06	OEB	-0,25	Hoogte kuil	0,27
Ruw vet	-0,32	VEVI	0,14	Breedte:hoogte	-0,58
Ruw as	-0,04	VOS	0,13	Wandhoogte	0,23
VCOS	0,14	FOS	0,21		
Suiker	-0,15	Structuurwaarde	-0,06		
Zetmeel	0,04				
NDF	-0,07				
NDFvertbh	0,03				
ADF	0,00				
ADL	-0,08				
pH	-0,30				
NH3-fractie	0,05				
Nitraat	-0,17				

3.2.5 Regressieanalyse met data van snijmaïskuilen.

Op basis van de dataset uit het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) is in eerste instantie een regressiemodel opgesteld met het drogestofgehalte en de hoogte van de kuil als enige twee verklarende variabelen omdat bij de huidige tabelmethode dit de belangrijkste parameters zijn en omdat er vanuit de correlatieanalyse geen duidelijke andere verklarende parameters naar voren kwamen. De regressievergelijking zag er als volgt uit:

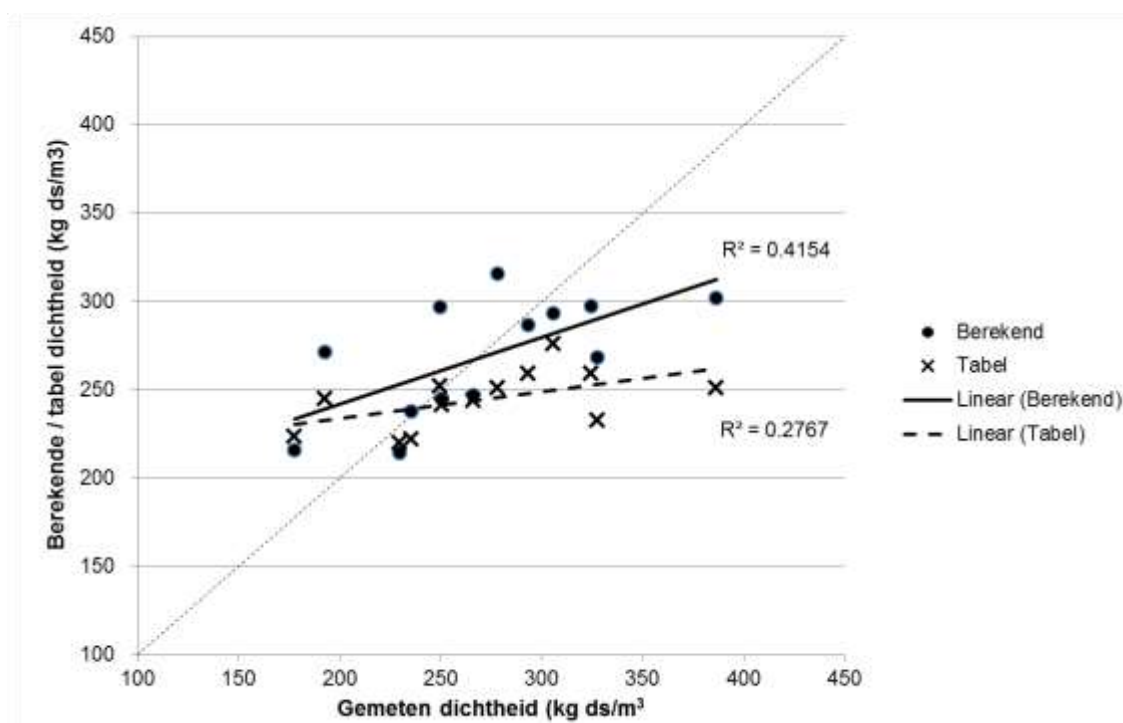
$$\text{Dichtheid (kg ds/m}^3\text{)} = -85 + (0.86 \times \text{DS (g/kg)}) + (0.38 \times \text{gemiddelde hoogte (cm)}) \quad (R^2 = 0,26)$$

Hoewel het percentage verklaarde variantie van deze vergelijking laag was, gaf het toevoegen van chemische of afgeleide voerparameters uit tabel 8 als verklarende termen geen hogere percentage verklaarde variantie. Dit komt waarschijnlijk voort uit het feit dat veel chemische en voerparameters zoals celwandparameters en het zetmeelgehalte die ook in sommige studies genoemd worden, allemaal sterk gerelateerd zijn aan het DS-gehalte van de maïs. Ook het toevoegen van kuilafmetingen als extra verklarende termen gaf geen hogere percentage verklaarde variantie.

In tabel 9 zijn de gemeten snijmaïskuildichtheden (blokwegingen) uit het onderzoek van Van Schooten en Van Dongen (2007) vergeleken met de berekende kuildichtheden op basis van de regressievergelijking en met de tabelwaarden uit het Handboek Melkveehouderij. Hieruit blijkt dat de berekende dichtheden gemiddeld beter overeen komen met de gemeten dichtheden dan de tabelwaarden. Met name de grotere dichtheden werden met de regressievergelijking beter geschat dan met de tabelwaarden. Gemiddeld werd de dichtheid met de tabelwaarden 10% onderschat en met de regressievergelijking slechts 1%. Dit resulteerde in een sterkere relatie tussen de berekende dichtheid en de gemeten dichtheid ($R^2 = 0,42$) dan tussen de dichtheid op basis van de tabel en de gemeten dichtheid ($R^2 = 0,28$). Deze relaties zijn weergegeven in figuur 4.

Tabel 9. Resultaten van vergelijking tussen gemeten snijmaïskuildichtheid en de tabelwaarden in het Handboek Melkveehouderij

Kuil-nr.	Kuil-type	Gronddek	Kuildichtheid (kg ds/m ³)			Verskil (%) t.o.v. gemeten	
			Gemeten	Berekend	Tabel	Berekend	Tabel
1	rijkuil		235	238	222	1	-6
2	sleufsilo		250	297	252	19	1
3	sleufsilo		328	268	233	-18	-29
4	sleufsilo		386	302	251	-22	-35
5	sleufsilo		278	316	251	14	-10
6	sleufsilo		193	271	245	41	27
7	rijkuil		230	214	220	-7	-4
8	rijkuil		178	216	223	21	26
9	rijkuil		324	297	259	-8	-20
10	sleufsilo		266	247	244	-7	-8
11	sleufsilo		250	245	241	-2	-4
12	sleufsilo		293	287	259	-2	-12
13	sleufsilo		306	293	276	-4	-10
Gemiddeld			271	269	244	-1	-10



Figuur 4. Relatie tussen enerzijds gemeten dichtheid van snijmaïskuilen en anderzijds de dichtheid, berekend op basis van de regressie formule en op basis van de tabelwaarden.

3.3 Nieuwe technieken voor dichtheidsmeting

Het meten van de dichtheid van gras en snijmaïskuilen zou kunnen worden vereenvoudigd door niet destructieve methoden (zonder boren of chemische analyses). Furl et al. (2008) hebben een inventarisatie gemaakt naar methoden voor het online meten van de dichtheid van kuilen. De achtergrond van genoemde studie was methoden te inventariseren die geschikt zijn om tijdens het inkuilen de mate van verdichting te meten om zodoende het inkuilresultaat te verbeteren. Er is een aantal technieken beschikbaar dat in potentie zinvol is om nader te worden onderzocht.

3.3.1 Grondradar

Uit de studie van Furl et al. (2008) kwam naar voren dat een grondradar in potentie goede mogelijkheden biedt om de dichtheid van kuilvoer te meten. De grondradar wordt thans wijdverbreid toegepast in de (wegen)bouw om de variatie in de verdichting van de ondergrond te meten en om kabels en leidingen op te sporen. De apparaten zijn compact van bouw en licht van gewicht (draagbaar). De grondradar kan tot 5 meter diepte indringen (Fürl et al., 2008). Het nadeel is dat de methode nog niet is getest in praktische omstandigheden.

De grondradar maakt gebruik van de diëlectrische constante van een materiaal. Er is wel een relatie tussen de diëlectrische constante en dichtheid. Met de grondradar zijn de verschillen in dichtheid te meten (kwalitatief), maar om de dichtheid te kwantificeren moet men de diëlectrische constante van het materiaal weten, dan wel bepalen. Er zijn wel apparaten die direct de diëlectrische constante kunnen meten van een materiaal. Deze worden voornamelijk in de wegenbouw - in combinatie met radar - gebruikt. Echter, de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van het bepalen van de diëlectrische constante voor gras- en maïskuilen zal moeten worden onderzocht.

Om de radarbeelden te kunnen vertalen, zal een kalibratiedataset moeten worden opgebouwd met bekende dichtheden van silages en de bijbehorende radarbeelden. Met name het kalibratieproces zal qua arbeidsbehoefte omvangrijk zijn. Echter, wanneer er een representatieve dataset kan worden opgebouwd is het gebruik van de grondradar een eenvoudige methode om de dichtheid van kuilvoer te bepalen.

3.3.2 *Microgolfsonde*

De microgolfsonde (planar sensor) heeft nagenoeg dezelfde voordelen als de grondradar. Dit instrument van de fa. TEWS (<http://www.tews-elektronik.com/en/measuring-instruments.html>) is al in een proefopstelling met kuilvoer getest. Het bleek dat het meetsignaal zowel door de dichtheid als het drogestofgehalte werd beïnvloed. In Duitsland wordt bij het Bornimer Institut Potsdam deze methode verder ontwikkeld. De techniek is relatief goedkoop, echter voor een toepassing in de praktijk zijn nog enkel ontwikkelingstappen nodig. Fürll et al. (2008) geven aan dat er technische ontwikkelingen nodig zijn zoals softwareaanpassingen en de ontwikkeling van een verbeterde hoge-frequentie antenne, om de microgolfsonde voor kuilvoer praktijkrijp te maken.

4 Conclusies en aanbevelingen

1. Bestaande modellen voor het schatten van de kuildichtheid die in de literatuur zijn beschreven bieden onvoldoende aanknopingspunten voor toepassing bij de voorraadbepaling voor BEX en BEP in de praktijk.
 - a. De meeste zijn gebaseerd op buitenlandse datasets en lijken niet representatief voor gras- en maïskuilen in Nederland wat betreft drogestofgehalte en chemische samenstelling
 - b. Sommige modellen bevatten invoervariabelen die lastig wettelijk zijn te borgen omdat ze moeilijk meetbaar en controleerbaar zijn.
2. Validatie van bestaande rekenmodellen met meetgegevens laten zien dat de voorspelnauwkeurigheid laag is. Geen van de modellen uit de literatuur gaf een acceptabele voorspelling van de dichtheid.
3. Penetrometers zijn ongeschikt gebleken om de dichtheid van gras- en maïskuilen te kwantificeren. Andere methoden, zoals grondradar en microgolfmetingen, bevinden zich nog in het ontwikkelingsstadium en het perspectief is nog erg onzeker.
4. De dichtheid van kuilen varieert in de hoogte en de breedte. Deze variatie beperkt de mogelijkheden om tot een representatieve bemonstering van kuilen te komen. Het wegen van boorkernen uit gesloten kuilen lijkt het best mogelijk bij graskuilen met een beperkte hoogte.
5. Een oriënterende analyse met een beperkte dataset laat zien dat een rekenmodel waarin voerparameters, gerelateerd aan de verteerbaarheid (VC-OS) en de celwandfracties (NDF, ADF, ADL) en daarnaast afmetingen van de kuil zijn opgenomen, een aanmerkelijke verbetering geeft van de voorspelnauwkeurigheid van de dichtheid van graskuilen ten opzichte van de bestaande tabelwaarden. Hoewel het om een klein aantal gegevens gaat, lijkt de ontwikkeling van een nieuw model op basis van de chemische samenstelling van het voer en de afmetingen van de kuil perspectiefvol.
6. Uit de oriënterende datasetanalyse bleek tevens dat bij snijmaïskuilen de verbetering van de voorspelnauwkeurigheid van de dichtheid van een rekenmodel op basis van voerparameters en kuilafmetingen ten opzichte van de tabelwaarden minder groot dan was dan bij graskuilen. Met name de grotere dichtheden werden wat beter voorspeld. Daarom is het voldoende interessant om in eventueel vervolgonderzoek naar mogelijkheden om kuildichtheden beter te schatten ook snijmaïskuilen mee te nemen.
7. Aanbevolen wordt om een kalibratiedataset samen te stellen op basis van gemeten dichtheden van complete kuilen in de praktijk waarmee nieuwe rekenmodellen voor het voorspellen van de dichtheid kunnen worden afgeleid en waarmee andere technieken, zoals grondradar of microgolfsonde, gekalibreerd kunnen worden. De dataset moet worden opgebouwd uit:
 - a. Eenvoudige, snel en goedkoop meetbare invoervariabelen zoals de chemische samenstelling, bepaald met een standaard gewasanalyse en de afmetingen van de kuil.
 - b. Invoervariabelen die geborgd kunnen worden, door controle achteraf
 - c. Gras- en maïskuilen die representatief zijn voor de variatie in Nederland wat betreft chemische samenstelling en afmetingen.

5 Literatuur

- Ahmels, H. P. and E. Isensee. 1994. Zur Verdichtung von Anwelkgras in Fahrstilos. *Landtechnik* 3:146-147.
- Beeker, W. 2003. Untersuchung zur Problematik der Nacherwärmung von Maissilage, Erntejahr 2002. in Fachbereich Agrarwirtschaft. Vol. Msc. Fachhochschule Südwestfalen, Bonn.
- Bernier-Roy, M., Y. Tremblay, P. Pomerleau, and P. Savoie. 2001. Compaction and Density of Forage in Bunker Silos. in 2001 ASAE Annual International Meeting. Sacramento USA.
- D'Amours, L. and P. Savoie. 2005. Density profile of corn silage in bunker silos. *Canadian Biosystems engineering* 47:2.21-22.28.
- Darby, D. E. and J. C. Jofriet. 1993. Density of silage in horizontal silos. *Can. Agric. Eng.* 35(4):275-280.
- Dernedde, W. 1983. Der Einfluss verschiedener Faktoren auf die Verdichtung von Gras in Lagerbehältern bei statischer Belastung. *Landbauforschung Völkenrode* 33(4):259-263.
- Fuentes-Pila, J., M. A. DeLorenzo, D. K. Beede, C. R. Staples, and J. B. Holter. 1996. Evaluation of equations based on animal factors to predict intake of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci* 79(9):1562-1571.
- Fürll, C., H. Schemel, and D. Köppen. 2008. Prinziplösungen für die Dichtemessung in Siliergütern. *Landtechnik* 60(2):94-96.
- Kleinmans, J., B. Ruser, G. Ooetjen, and J. Thaysen. 2005. Eine neue Methode zur Bestimmung der Verdichtung in Praxissilos. In: *Mais*, 4/2005(4).
- Leurs, K. 2006. Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. in Forschungsbericht Agrartechnik. Vol. 438. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Maack, C. 2009. Untersuchungen zur Lagerungsdichte bei der Futterkonservierung in Folienschläuchen. in Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät. Vol. PhD. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- McGechan, M. B. 1990. A Review of losses arising during conservation of grass forage 2. Storage losses. *J. Agr. Eng. Res.* 45(1):1-30.
- Messer, H. J. M. and J. C. Hawkins. 1977a. Influence of moisture-content and chop length of forage maize on silage bulk density and pressure on bunker silo walls. *J. Agr. Eng. Res.* 22(2):175-182.
- Messer, H. J. M. and J. C. Hawkins. 1977b. Influence of properties of grass-silage on bulk density and horizontal pressure. *J. Agr. Eng. Res.* 22(1):55-64.
- Muck, R. E. and B. J. Holmes. 2000. Factors affecting bunker silo densities. *Appl. Eng. Agric.* 16(6):613-619.
- Resch, R. 2008. Ergebnisse Silageprojekt 2003/2005/2007. Pages 35-45 in 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein. Raumberg-Gumpenstein.
- Ruppel, K. A., R. E. Pitt, L. E. Chase, and D. M. Galton. 1995. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *J. Dairy Sci* 78(1):141-153.
- Savoie, P. and L. D'Amours. 2008. Density profile of herbage silage in bunker silos. *Can. Agric. Eng.* 50:3.57-53.65.
- Schoers, S. 2003. Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Lagerdichte von Gras- und Maissilage in Flachsilos. Page 105 in Landwirtschaftlichen Fakultät Vol. Msc. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Spiekers, H. 2002. Maßnahmen zur Vermeidung von Nacherwärmungen. Futterkonservierung - Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien, Nordwestdeutsche Landwirtschaftskammern 6, 12-16. Nordwestdeutsche Landwirtschaftskammern 6:12-16.
- Spiekers, H. and A. Schiborra. 2002. Der sichere Weg zur Qualitätssilage. *LZ Rheinland* 38:25 – 27.
- van Schooten, H. A. and C. A. van Dongen. 2007. Dichtheidsbepaling maïs- en graskuilen met boormonsters. in Rapport. Vol. 62. Wageningen-UR Animal Sciences Group, Lelystad, Nederland.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl